黄河流域国家湿地公园时空分异、重心演化与驱动因素分析

周 成[1,2]， 赵亚玲[1]， 任敏敏[1]， 靳铁婷[1]， 吕丝丝[1]
（1. 山西财经大学文化旅游与新闻艺术学院，山西 太原 030006；
2. 山西财经大学数字文旅产业学院，山西 太原 030006）

摘 要： 湿地公园是我国自然保护体系的重要组成部分，加强国家湿地公园的建设和管理对于有效保护湿地资源、发挥湿地生态功能具有重要意义。以黄河流域国家湿地公园为对象，以2010、2015年和2022年为时点，运用核密度估计、热点分析、标准差椭圆和地理探测器模型对其时空分异、重心演化与驱动因素给予研究。结果表明：(1) 2010年，国家湿地公园在黄河流域呈"双核多点"的密度特征，2015年和2022年则呈"多核连片"的分布趋势，公园数量与面积均有大幅增加，对经济发展和生态保护作用不断增强。(2) 2010—2022年，湿地公园重心坐标总体上向东北移动247.31 km，具有显著的"东北—西南"分布特征。分流域来看，中游省区重心移动距离最大，下游省区移动最小。(3) 自然环境维度对湿地公园分布影响有限，社会经济维度则在湿地保护修复和公园建设等方面起决定性作用，人均GDP和数字高程模型(DEM)因子分别在社会与自然维度中作用最大。

关 键 词： 国家湿地公园；时空分异；重心演化；驱动因素；黄河流域
文章编号： 1000－6060(2024)03－0506－09(0506～0514)

国家湿地公园是指以保护湿地生态系统、合理利用湿地资源、开展湿地宣传教育和科学研究为目的，经国家林业和草原局批准设立，按照有关规定予以保护和管理的特定区域[1]。近年来，我国高度重视湿地公园建设工作，并将其看作维护和扩大湿地保护面积，促进区域生态环境提升的有效途径之一。2022年11月，习近平总书记在《湿地公约》第十四届缔约方大会上指出，我国将陆续设立一批国家公园，把约$1100×10^4$ hm^2的湿地纳入国家公园体系，实施湿地保护重大工程[2]，这进一步为湿地公园开发、建设与管理指明了方向。在生态文明建设和国家高质量发展背景下，对湿地公园的时空分异、重心演化及驱动因素等方面进行研究具有理论价值与现实意义。

湿地公园相关研究国内外各有侧重，国外涉及生物群落、功能作用、规划建设及公园管理等内容。生物群落是湿地公园的重点保护内容之一，其生存环境与结构特征等受到学者的广泛关注[3]。诸多植物、动物和微生物等有机体在土壤与水体交互作用的湿地环境中得以生存[4]。湿地公园具有多种功能和作用，如可通过降解污染物净化水质[5]、为土地提供营养物促进作物生长[6]、调整局部气候影响社区生活[7]、利用自然风光促进湿地旅游发展[8]。公园景观设计应结合地方文化与民俗风情，做到文化资源和景观资源的综合利用[9]。公园管理方面，学者们从加强湿地公园法制建设[10]、转变政府管理职能[11]、鼓励政府组织公园生态保护[12]、发展生态低碳旅游[13]等方面提出了多元化措施。国内研究则侧重于湿地公园的生态系统、价值评估与时空结构等内容。湿地公园生态系统结构不仅包括土壤、水分、气候等非生物要素[14]，也包括植物、动物、微生物等生物要素[15]。价值评估方面，湿地公园具有

收稿日期： 2023-07-15； **修订日期：** 2023-09-07
基金项目： 国家社会科学基金一般项目(23BGL166)资助
作者简介： 周成(1989-)，男，博士，副教授，主要从事黄河流域经济地理研究. E-mail: zhoutravel@163.com

涵养水源[16]、水土保持、固碳减排[17]等生态价值，此外，可基于自然风光和物种群落发展生态型经济，因而具有美学和经济价值[18]。时空结构方面，现有分析尺度以全国层面[19-21]及贵州省[22]、河南省[23]等省域层面为主，方法以描述性统计、层次分析法为主。综上得知，当前湿地公园研究已涉及数个领域，但缺乏对其空间分异演化规律和驱动机制的探索，分析尺度鲜有以河流流域的湿地公园空间分异研究。本研究即以黄河流域国家湿地公园为对象，以2010、2015年和2022年为时点，运用GIS分析工具对其时空分异、重心演化给予研究，并运用地理探测器分析了湿地公园空间分异的驱动因子，以期为黄河流域生态保护与湿地公园可持续发展提供参考借鉴。

1　数据与方法

1.1　研究区概况

黄河流经青海省、四川省、甘肃省、宁夏回族自治区、内蒙古自治区、山西省、陕西省、河南省和山东省。黄河流域作为连接三江源、祁连山、汾渭平原、华北平原等“生态高地”的巨型生态廊道，在我国生态建设中具有重要地位[24]。截止2022年，黄河流域沿线9省区共有国家湿地公园291处，占全国总量的32.297%，以上湿地公园在维护黄河流域生物多样性、促进生态环境高效治理、调节优化局地气候等方面发挥重要作用。

黄河流域研究区域界定方面，左其亭等[25]在梳理国内外相关文献基础上，将其划分为自然流域区、干流流经区、流域涉及区和黄河全行政区4个类型。其中，黄河全行政区指黄河流经的9个省区全境所有行政区，面积约356.867×10⁴ km²，该区域类型多被用于需打破行政壁垒束缚、涉及诸多影响因素、内部结构复杂的研究对象[26]。基于国家湿地公园在黄河流域的跨省域分布、跨区域管理和影响因素多元等，本研究即以黄河流域全行政区为研究尺度，以最大范围厘清流域内国家湿地公园的空间分异特征，为湿地公园空间联动、跨区保护和科学管理提供依据。

1.2　数据来源与处理

国家湿地公园名单源于国家林业与草原局湿地管理司网站（http://sdb.shidicn.com/）。公园地理位置主要通过百度坐标API坐标拾取器获取，并运用Geo Sharp软件进行了GWS1984坐标纠偏处理。空间驱动因素分析涉及湿地面积、≥10 ℃积温（AAT10）、年降水量、数字高程模型（DEM）、归一化植被指数（NDVI）等自然因素指标，数据源于地理遥感生态网（http://www.gisrs.cn）和中国科学院资源环境科学与数据中心网站（http://www.resdc.cn）。社会经济类指标涉及各省区年末人口数、人均GDP、公路里程、居民人均可支配收入、A级旅游景区等，数据源于《中国统计年鉴（2021）》《中国城市统计年鉴（2021）》《中国文化和旅游统计年鉴（2021）》。

1.3　研究方法

1.3.1　核密度估计　核密度估计可研究已知样本点在空间单元内的分布特征，结果可以准确识别和显示研究区内样本点的集散情况。本研究将黄河流域国家湿地公园抽象为点元素，利用核密度估计对其密度特点进行分析。计算公式如下：

$$f(x)=\frac{1}{nh^d}\sum_{i=1}^{n}K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \tag{1}$$

式中：$K\left(\frac{x-x_i}{h}\right)$为核密度函数；$h$（$h$>0）为带宽；$n$为研究区域湿地公园的数量；$x-x_i$为估计值点$x$与样本点$x_i$之间的距离；$d$为数据维数。

1.3.2　热点分析法　热点分析法常用于探索地理样本点的融合程度和聚集规律。分析热点与冷点区分别代表在统计意义上具有显著性的高值和低值空间聚集，可反映样本点在空间的聚类位置[27]。本研究用该方法了解湿地公园在黄河流域的空间冷热格局。计算公式如下：

$$G_i^*=\frac{\sum_{i=1}^{n}w_{ij}-\sum_{j=1}^{n}w_{ij}}{S\sqrt{\frac{n\sum_{j=1}^{n}w_{ij}^2-\left(\sum_{j=1}^{n}w_{ij}\right)^2}{n-1}}} \tag{2}$$

$$\bar{X}=\frac{\sum_{j=1}^{n}x_j}{n};\ S=\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}x_j^2}{n}(\bar{X})^2} \tag{3}$$

式中：w_{ij}为省区i与j间的空间权重；n为省区总数；x_j为湿地公园在j省区的数量；$\bar{X}$为湿地公园在各省区的数量均值；S为标准差；G_i^*统计量为z得分，z值越大则为热点地区，z值越小则为冷点地区。

1.3.3 标准差椭圆 标准差椭圆是通过计算地理样本点的分布重心、X和Y坐标的标准差，进而获得一个包含样本点一定数量比例且具方向特征的椭圆[28]。本研究运用该方法来分析湿地公园在黄河流域的重心演化特征。计算公式如下：

$$\mathrm{SD}_x = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(\Delta x_i \cos\theta - \Delta y_i \sin\theta\right)^2 / n} \tag{4}$$

$$\mathrm{SD}_y = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(\Delta y_i \cos\theta - \Delta x_i \sin\theta\right)^2 / n} \tag{5}$$

$$\tan\theta = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n}\Delta x_i^2 - \sum_{i=1}^{n}\Delta y_i^2\right) + \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n}\Delta x_i^2 - \sum_{i=1}^{n}\Delta y_i^2\right) + 4\left(\sum_{i=1}^{n}\Delta x_i \Delta y_j\right)^2}}{2\sum_{i=1}^{n}\Delta x_i \Delta y_j} \tag{6}$$

式中：SD_x 和 SD_y 分别为x轴和y轴标准差；Δx_i 和 Δy_i 分别为湿地公园的x、y坐标点与其平均中心的偏差；θ为椭圆旋转角；n为第i个省区的湿地公园数量。

1.3.4 地理探测器 地理探测器是通过探测地理样本点的空间分异性以揭示其驱动因子的统计方法。该方法没有过多假设条件，在处理混合类型数据时具有明显优势。地理探测器包括因子探测、交互探测、风险探测和生态探测4个模块。本研究选取因子探测和交互探测对湿地公园空间分异的驱动因素进行分析。计算公式如下：

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^{L} N_h \sigma_h^2}{N\sigma^2} \tag{7}$$

式中：L为驱动因素或被驱动因素分类，h=1, 2, …, L；N为样本总量；N_h 为第h层样本本量；σ^2 为样本方差；q 为第h层样本方差；q取值位于[0, 1]。交互探测模块用来探测驱动因素两两交互后的解释性大小，交互作用可分为非线性减弱、单因子非线性减弱、相互独立、双因子增强和非线性增强5种类型。

2 结果与分析

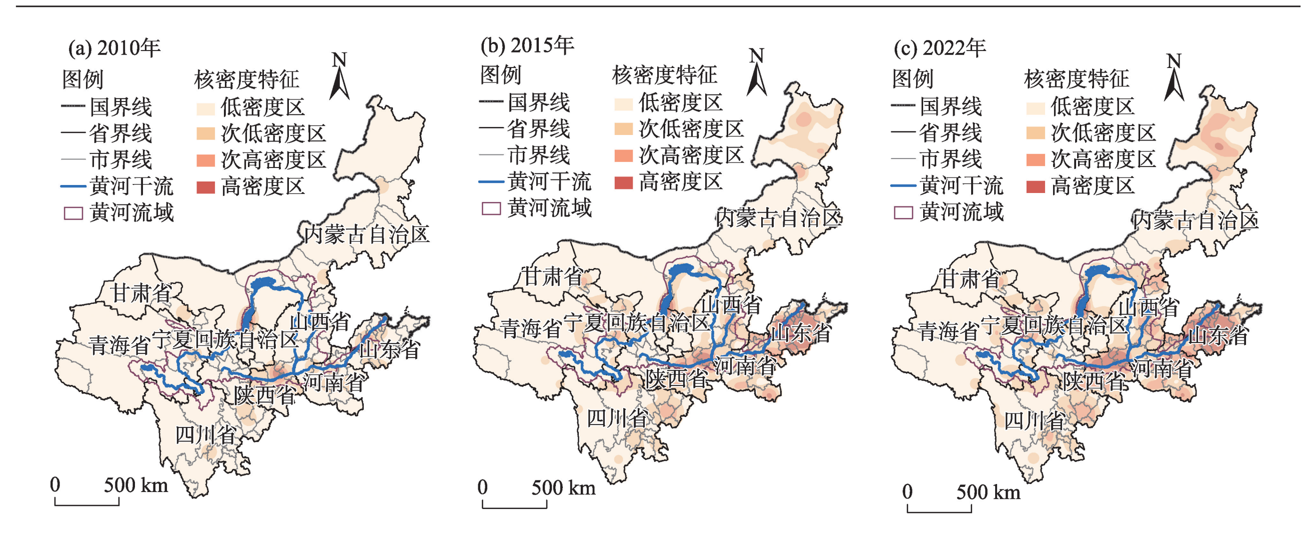
2.1 黄河流域国家湿地公园时空分异分析

2.1.1 空间密度分异特征 基于核密度估计可绘制国家湿地公园在黄河流域的空间密度图。图1a所示，2010年，湿地公园在黄河流域呈现"双核多点"密度特征，形成了以关中平原和宁夏平原为主体的两大核心片区。其中，关中平原拥有浐灞、清峪河、赵氏河、潼关黄河等国家湿地公园，这些公园具有降解工业环境污染、涵养净化地区水源、改善城市人居环境等多重功效。宁夏平原则有星海湖、天湖、银川等国家湿地公园，以上公园多属于河流型和湖泊型湿地公园，有较强的滞蓄洪水和调蓄水源作用。此外，多点区主要位于山东省中部、河南省中北、四川省东北以及青海省东部等地，虽然以上点区湿地公园数量偏少，但亦为周边省市国家湿地公园申报和建设提供了重要经验。

2015年和2022年，湿地公园在黄河流域呈"多核连片"的分布格局(图1b~c)。与2010年相比增加了山东省中部核心区，近年来该区域湿地公园体制不断完善、旅游产业跨越式发展，国家湿地公园获批数有大幅增加。此外，陕西省中部核心区面积也因七星河、千渭之会、龙源、田峪河等湿地公园的扩容有所增加。进一步，四川省东部、山西省中南部、河南省大部及内蒙古自治区东北部等湿地公园分布由2010年的零散点状变为了2022年的连片面状特征，这表明黄河流域沿线在习近平新时代生态文明思想指导下，湿地保护和管理工作成效显著，国家湿地公园数量与面积有大幅增加，对经济发展和生态保护的促进作用不断增强。

2.1.2 冷热关联分异特征 2010—2022年，黄河流域湿地公园冷热等级上升的有山东省、内蒙古自治区以及河南省(图2a~c)。其中，山东省由2010年次热点上升为2015年和2022年的热点省区，截止2022年，山东省共有国家级湿地公园66处，数量排全国第二，得益于该省社会经济发展增效提质、生态环境保护力度加大、湿地公园申报工作积极进取。内蒙古自治区作为我国北方面积最大、种类最全的生态功能区，由次冷、次热省区上升为2022年的热点省区。"十八大"以来，内蒙古自治区紧密围绕"生态优先，绿色发展"的湿地保护思路，在湿地公园保护和建设成效显著。此外，河南省由次冷点上升为次热点省区，湿地公园数量由2010年的3处增加到了2022年的35处。

冷热等级下降的有陕西省和宁夏回族自治区，分别由热点降为次热点、次热点降为冷点省区，由



注：该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2019)3333号的标准地图制作，底图边界无修改。下同。

图1　黄河流域国家湿地公园的核密度分布

Fig. 1　Kernel density distributions of national wetland parks in the Yellow River Basin

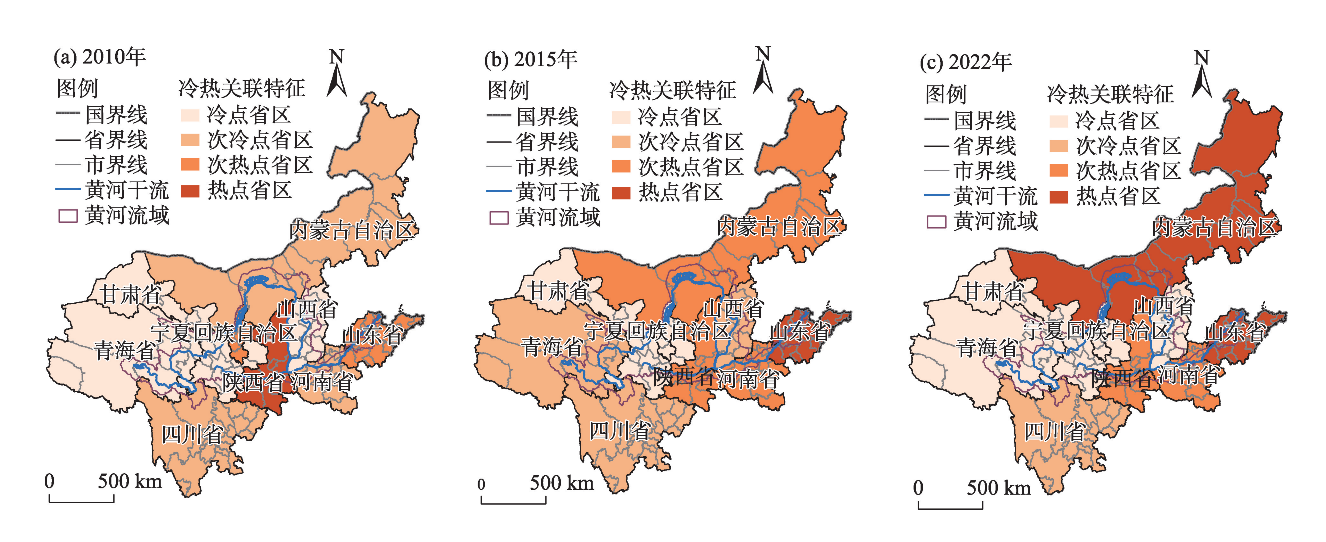


图2　黄河流域国家湿地公园的热点分布

Fig. 2　Hotspots distribution of national wetland parks in the Yellow River Basin

于以上两省2010年前湿地公园数量处于优势，之后数量增加趋于平缓，加之周边省区数量增加所致。冷热等级不变的有甘肃省（冷点）和四川省（次冷点），截止2022年两省分别有国家湿地公园12处和29处。青海省和山西省在2010—2015年由冷点省区升为次冷点，2015—2022年再由次冷点降为了冷点省区。2010年青海省和山西省分别仅有1处（青海贵德黄河清、山西古城）国家湿地公园，其湿地公园的申请与建设高潮集中于2010—2015年。从省域差异看，国家湿地公园在黄河流域9省区表现出了上游多冷点省区、中下游则多热点省区的空间分异格局。

2.2　黄河流域国家湿地公园的重心演化分析

2.2.1　*总体重心演化特征*　湿地公园在黄河流域总体呈现“东北—西南”的分布特征（图3a）。椭圆旋转角在2010、2015年和2022年分别为76.14°、60.82°和57.10°。标准差椭圆扁率由2010年的0.43上升到了2022年的0.48，椭圆形状变狭长显示出湿地公园在“东北—西南”向空间差异持续增大。此外，2010、2015年和2022年湿地公园空间重心分别位于延安黄龙县（109.868°E，35.789°N）、晋中灵石县（111.786°E，36.881°N）和晋中平遥县（111.995°E，37.176°N），重心总体向东北方向移动了247.31 km。东部的山东省、河南省及北部的内蒙古自治区湿地

生态不断优化、湿地公园数量增长快速，使其重心向东北发生了偏移。进一步，标准差椭圆面积由2010年的911403 km^{2}增大至2022年的1789454 km^2，占据了68%的湿地公园分布范围，扩大近一倍，这表明湿地公园分布在黄河流域具有较强的空间扩张趋势。

2.2.2 分流域重心演化特征 黄河流域横跨我国东、中、西部，且生态环境和社会经济具有较大地区差异，将其划分为上游（四川省、青海省、甘肃省、宁夏回族自治区）、中游（内蒙古自治区、山西省、陕西省）和下游（河南省、山东省）进行分流域重心演化分析。由图3b可知，中游省区湿地公园在研究时段的重心移动距离最大，且与总体重心移动方向一致。由延安黄龙县向东北迁移至大同平城区，共630.95 km。上游省区重心移动距离次之，由白银会宁县向西南移动至甘南藏族自治州临潭县。下游则移动距离最小，仅有40.66 km。此外，2010年上游省区椭圆旋转角为7.78°，湿地公园在该地区呈南北向分布特征，2015年和2022年旋转角度约为150°，变为了"西北—东南"走向分布。中游和下游省区旋转角分别为41.03°~43.44°、58.30°~61.82°，表明湿地公园在以上地区呈"东北—西南"分布。

2.3 黄河流域国家湿地公园的驱动因素分析

2.3.1 空间驱动因素因子探测 借鉴杨利等[29]、吴后建等[30]、巴旗等[31]研究成果，本研究从自然环境和社会经济两大维度探讨湿地公园在黄河流域的空间分异驱动因素。其中，自然环境维度包含湿地面积、年降水量、AAT10、DEM、NDVI指标，社会经济维度包含年末人口数、人均GDP、公路里程、居民人均可支配收入、A级旅游景区。

基于地理探测器模型对各驱动维度和细分因子进行因子探测（表1），从驱动维度来看，社会经济维度q均值为0.808，自然环境仅为0.198，表明地形、降水和温度等自然因素虽是湿地地貌及其生态系统形成的前提条件，但对湿地公园在黄河流域的数量分布影响有限，相反社会经济因子在湿地保护修复与湿地公园建设等方面起决定性作用。

从细分因子来看，人均GDP和DEM的q值分别为0.952和0.426，即在两大维度中作用最大。人均GDP作为地区经济水平和富裕程度的表征，可为湿地公园生态维护、旅游开发与景观设计等提供资金和物质保障。DEM对所在地湿地生态系统的形成及其空间分布具有较大影响，黄河流域湿地公园主要以河流、近海与海岸类型为主，海拔500 m以下的地区共有146处国家湿地公园，占9省区总数的49.49%；4000 m以上的高原区仅有6处国家湿地公园。年末人口数和NDVI的q值分别为0.387和0.009，表明上述因子对黄河流域湿地公园的空间驱动作用有限，人口规模与植被丰度更多地是通过影响所在地经济发展与生态环境进而对湿地公园保护和建设起间接作用。

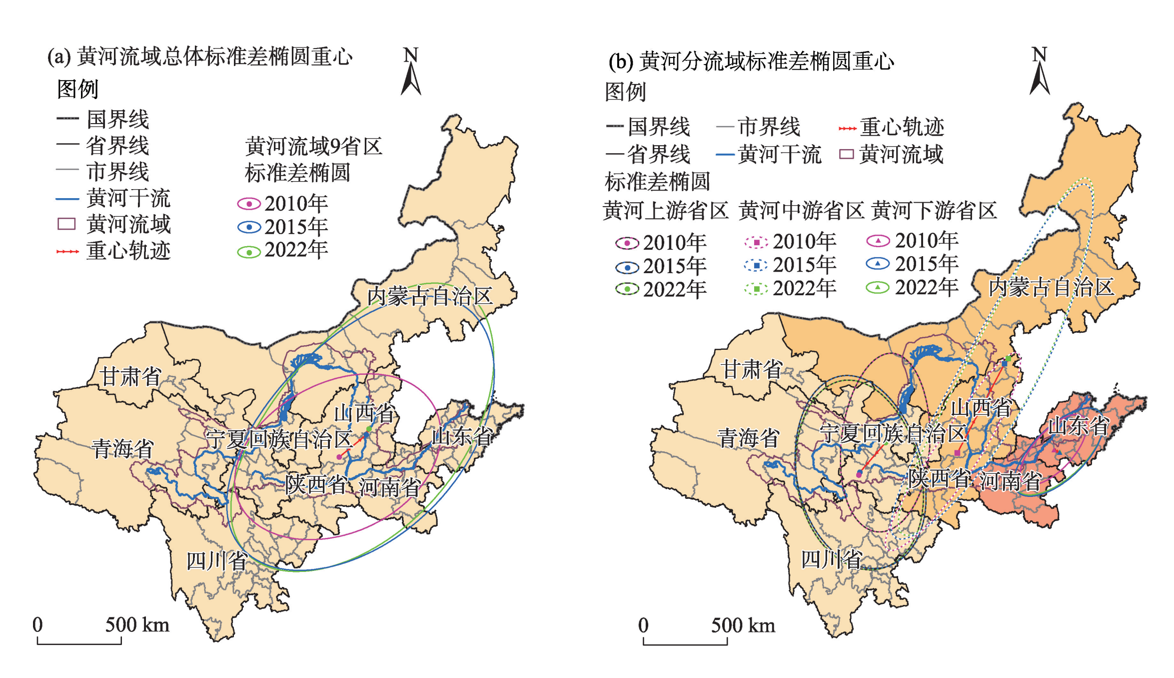


图3 黄河流域国家湿地公园的分布重心及标准差椭圆

Fig. 3 Distribution centers of gravity and standard deviation ellipses of national wetland parks in the Yellow River Basin

表1　黄河流域国家湿地公园空间分异驱动因子探测

Tab. 1　Factor detection results of spatial differential drivers for national wetland parks in the Yellow River Basin

驱动维度	序号	细分因子	依据	单位	q值	q均值
社会经济维度	X_{pop}	年末人口数	周婷等[20]	10^4人	0.387	0.808
	X_{gdp}	人均GDP	樊涵等[22]	10^4元	0.952	
	X_{roa}	公路里程	杨利等[29]	km	0.837	
	X_{inc}	居民人均可支配收入	刘汉湖等[21]	元	0.930	
	X_{sce}	A级旅游景区	董冬等[18]	个	0.935	
自然环境维度	X_{wet}	湿地面积	魏伟等[27]	hm^2	0.273	0.198
	X_{aat}	AAT10	潘竟虎等[19]	℃	0.254	
	X_{pre}	年降水量	潘竟虎等[19]	mm	0.027	
	X_{dem}	DEM	杨利等[29]	m	0.426	
	X_{ndv}	NDVI	巴旗等[31]	-	0.009	

注：DEM为数字高程模型；AAT10为≥10 ℃积温；NDVI为归一化植被指数。

2.3.2　空间驱动因素交互探测　由表2可知，细分因子交互作用后对湿地公园的空间驱动作用比单因子独立作用时更强，主要表现出2种类型，即非线性增强和双因子增强关系。其中，呈非线性增强类型共有14对细分因子组合，即$X_{pop}∩X_{wet}$、$X_{pop}∩X_{pre}$、$X_{pop}∩X_{ndv}$、$X_{roa}∩X_{pre}$、$X_{sce}∩X_{pre}$、$X_{sce}∩X_{ndv}$、$X_{wet}∩X_{aat}$、$X_{wet}∩X_{pre}$、$X_{wet}∩X_{dem}$、$X_{wet}∩X_{ndv}$、$X_{aat}∩X_{pre}$、$X_{aat}∩X_{ndv}$、$X_{pre}∩X_{ndv}$、$X_{dem}∩X_{ndv}$，以上两两因子交互作用后对国家湿地公园的空间分布解释和驱动大于单独作用之和。其余31对细分因子交互作用后则表现出了双因子增强关系，即对国家湿地公园的空间解释作用小于两因子作用力之和，但大于各个因子单独作用时的解释程度。

3　讨　论

本研究借助GIS空间分析法对黄河流域国家湿地公园的时空分异与重心演化等进行分析，旨在为湿地公园的空间信息呈现与动态管理提供方法借鉴。对湿地公园空间分布的驱动因素进行地理探测分析，以期为厘清黄河流域湿地公园驱动短板与发展路径提供决策参考。潘竟虎等[19]、周婷等[20]、刘汉湖等[21]对湿地公园的空间差异分析多以全国范围为分析尺度，以单一截面数据为分析依据，本研究则在上述成果基础上，将尺度进一步聚焦于黄河流域，以响应黄河流域生态保护与高质量发展国家战略需求，将研究时点定位于2010、2015年和2022年，以更好地了解湿地公园的空间差异和重心演化规律。此外，本研究在空间分异驱动因素所得结论与刘汉湖等[21]、杨利等[29]、吴后建等[30]研究成果具有一致性，均强调了经济规模、交通条件等社会经济因素对湿地公园空间格局的塑造作用。

根据研究结果，从以下方面提出了黄河流域国家湿地公园的空间优化与管理建设策略：(1) 厘清

表2　黄河流域国家湿地公园空间分异驱动因子交互探测

Tab. 2　Interactive detection results of spatial differential drivers for national wetland parks in the Yellow River Basin

交互作用	X_{pop}	X_{gdp}	X_{roa}	X_{inc}	X_{sce}	X_{wet}	X_{aat}	X_{pre}	X_{dem}	X_{ndv}
X_{pop}	0.287	+	+	+	+	*	+	*	+	*
X_{gdp}	1.000	0.852	+	+	+	+	+	+	+	+
X_{roa}	0.848	0.966	0.637	+	+	+	+	*	+	+
X_{inc}	0.928	0.989	1.000	0.810	+	+	+	+	+	+
X_{sce}	1.000	0.972	0.973	1.000	0.713	+	+	*	+	*
X_{wet}	0.961	1.000	0.870	0.967	1.000	0.373	*	*	*	*
X_{aat}	0.588	0.969	0.898	0.953	0.970	0.760	0.314	*	+	*
X_{pre}	0.769	0.978	0.954	0.955	0.981	0.687	0.604	0.265	+	*
X_{dem}	0.617	0.960	0.880	0.947	0.941	0.862	0.513	0.556	0.480	*
X_{ndv}	0.604	0.959	0.845	0.936	0.958	0.650	0.582	0.514	0.731	0.232

注：*表示非线性增强关系，即$q(X_1∩X_2)>q(X_1)+q(X_2)$；+表示双因子增强关系，即$q(X_1∩X_2)>\max\{q(X_1), q(X_2)\}$。

不同区域湿地资源差异,形成国家湿地公园的差异化建设路径。根据不同流域与河段的湿地类型、空间集散和环境特征,有重点地进行湿地公园管理与生物多样性保护,如黄河源头区若尔盖湿地公园,重点打造高海拔湿地生态系统和生物栖息地。上游峡谷区和河套地区湿地公园,重点发挥其滞蓄洪水、调蓄水源和改善水质等功能。中下游地区湿地公园,应着力降低工农业生产出现的污染,发展生态旅游与低碳经济等。(2) 把握湿地公园建设关键因素,助力黄河流域生态保护与高质量发展。黄河流域湿地公园建设管理与空间分布受所在地自然、社会、经济等诸多因素影响,应注重地区经济在公园建设中的资金支撑和技术保障作用,促进文旅产业发展与国家湿地公园建设的有机融合,提高旅游开发、公园建设与生态保护等工作的协同关系。(3) 健全湿地保护顶层制度设计,构建国家湿地公园的立体化管理体系。近年来,我国陆续出台《中华人民共和国湿地保护法》《国家公园空间布局方案》《国家湿地公园管理办法》等法律规范,为黄河流域湿地公园提供了建设依据。未来应持续完善湿地公园的各类法律法规、发展规划、建设标准、管理规范等,形成立体化管理体系。进一步将黄河流域国家湿地公园纳入到我国国家公园建设体系[2]以及黄河流域生态保护与高质量发展国家战略中[24]。

4 结 论

(1) 2010年,国家湿地公园在黄河流域形成了以关中和宁夏平原为主体的"双核多点"密度特征。2015年和2022年,湿地公园则呈现"多核连片"分布趋势,数量与面积有大幅增加。湿地公园在黄河流域表现出上游多冷点、中下游多热点省区的分异格局。冷热等级上升的有山东省、内蒙古自治区和河南省,下降的有陕西省和宁夏回族自治区。

(2) 2010—2022年,国家湿地公园重心在黄河流域总体向东北移动了247.31 km,并呈显著的"东北—西南"向分布。标准差椭圆面积扩大近一倍,湿地公园在黄河流域有较强的空间扩张趋势。分流域来看,中游省区的空间重心移动距离最大,而下游省区移动距离最小。

(3) 湿地公园空间分异受社会经济和自然环境等维度因素共同驱动。自然环境维度对公园数量分布影响有限,社会经济因子在湿地保护修复和公园建设等方面起决定性作用。细分因子交互作用后对湿地公园的空间驱动作用比单因子独立作用时更强,表现出非线性和双因子增强2种关系。

参考文献(References)

[1] 国家林业和草原局. 关于印发《国家湿地公园管理办法》的通知[EB/OL]. [2023-01-04]. https://www.forestry.gov.cn/main/5925/20230104/150501064352589.html. [National Forestry and Grassland Administration. Notice of issuance of the "National Wetland Park Management Regulations"[EB/OL]. [2023-01-04]. https://www.forestry.gov.cn/main/5925/20230104/150501064352589.html.]

[2] 求是网. 习近平在《湿地公约》第十四届缔约方大会开幕式上的致辞[EB/OL]. [2022-11-05]. http://www.qstheory.cn/yaowen/2022-11/05/c_1129104349.htm. [Qiushi Network. Xi Jinping's speech at the opening ceremony of the 14th Conference of the Parties to the "Ramsar Convention"[EB/OL]. [2022-11-05]. http://www.qstheory.cn/yaowen/2022-11/05/c_1129104349.htm.]

[3] Middleton B A, van der Valk A G, Davis C A. Responses to water depth and clipping of twenty-three plant species in an Indian monsoonal wetland[J]. Aquatic Botany, 2015, 126: 38-47.

[4] Julian P, Chambers R, Russell T. Iron and pyritization in wetland soils of the Florida coastal everglades[J]. Estuaries and Coasts, 2017, 40(3): 822-831.

[5] Pitt A L, Howard J H, Baldwin R F, et al. Small parks as local social-ecological systems contributing to conservation of small isolated and ephemeral wetlands[J]. Natural Areas Journal, 2018, 38(4): 237-249.

[6] Aguilera H, Moreno L, Wesseling J G, et al. Soil moisture prediction to support management in semiarid wetlands during drying episodes[J]. Catena, 2016, 147: 709-724.

[7] Della B H, Gillespie J. Bringing the swamp in from the periphery: Australian wetlands as sites of climate resilience and political agency[J]. Journal of Environmental Planning and Management, 2020, 63(9): 1616-1632.

[8] Rashid I, Aneaus S. Landscape transformation of an urban wetland in Kashmir Himalaya, India using high-resolution remote sensing data, geospatial modeling, and ground observations over the last 5 decades (1965—2018)[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2020, 192(10): 635, doi: 10.1007/s10661-020-08597-4.

[9] Chaikumbung M, Doucouliagos H, Scarborough H. Institutions, culture, and wetland values[J]. Ecological Economics, 2019, 157: 195-204.

[10] Maltchik L, Caleffi V, Stenert C, et al. Legislation for wetland conservation in Brazil: Are existing terms and definitions sufficient? [J]. Environmental Conservation, 2018, 45(3): 301-305.

[11] Tait M K, Brunson M W. Barriers and opportunities for cooperative wetland management: A case study in the greater Rocky

Mountain National Park ecosystem[J]. Wetlands Ecology and Management, 2021, 30(2): 257-272.

[12] Clare S, Creed I F. Tracking wetland loss to improve evidence-based wetland policy learning and decision making[J]. Wetlands Ecology and Management, 2014, 22(3): 235-245.

[13] Lamsal P, Atreya K, Pat K P, et al. Tourism and wetland conservation: Application of travel cost and willingness to pay an entry fee at Ghodaghodi Lake Complex, Nepal[J]. Natural Resources Forum, 2016, 40(1-2): 51-61.

[14] 李群, 赵辉, 赵成章, 等. 洮河国家湿地公园主要植物群落多样性对土壤环境因子的响应[J]. 生态学报, 2022, 42(7): 2674-2684. [Li Qun, Zhao Hui, Zhao Chengzhang, et al. Response of main plant community diversity to soil environmental factors in Taohe National Wetland Park[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(7): 2674-2684.]

[15] 左怡琳, 刘展辰, 张帅, 等. 江苏南湖国家湿地公园鸟类群落的时空变化[J]. 湿地科学与管理, 2018, 14(2): 46-49. [Zuo Yilin, Liu Zhanchen, Zhang Shuai, et al. Temporal and spatial variation of bird community in Jiangsu Nanhu National Wetland Park[J]. Wetland Science & Management, 2018, 14(2): 46-49.]

[16] 陈炜, 张雨珂, 炊雯, 等. 黄土高原湿地生态系统服务功能价值评估——以陕西省千湖国家湿地公园为例[J]. 水土保持通报, 2019, 39(4): 270-274, 280. [Chen Wei, Zhang Yuke, Chui Wen, et al. Evaluation on ecosystem service values of wetland in Loess Plateau: A case study at Qianhu National Wetland Park, Shaanxi Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(4): 270-274, 280.]

[17] 潘明欣, 张力小, 胡潭高, 等. 城市湿地生态系统服务动态演化及其权衡关系——以杭州西溪湿地为例[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2022, 58(6): 893-900. [Pan Mingxin, Zhang Lixiao, Hu Tangao, et al. Temporal and spatial changes and trade-offs analysis of urban wetland ecosystem services: A case study of Xixi Wetland in Hangzhou[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science Edition), 2022, 58(6): 893-900.]

[18] 董冬, 罗毅, 王丽宸, 等. 2019年安徽省焦岗湖国家湿地公园游憩资源经济价值评估[J]. 湿地科学, 2021, 19(5): 558-566. [Dong Dong, Luo Yi, Wang Lichen, et al. Economic valuation of recreational resources in Jiaogang Lake National Wetland Park of Anhui Province in 2019[J]. Wetland Science, 2021, 19(5): 558-566.]

[19] 潘竟虎, 张建辉. 中国国家湿地公园空间分布特征与可接近性[J]. 生态学杂志, 2014, 33(5): 1359-1367. [Pan Jinghu, Zhang Jianhui. Spatial distribution characteristics and accessibility of national wetland parks in China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33(5): 1359-1367.]

[20] 周婷, 牛安逸, 马姣娇, 等. 国家湿地公园时空格局特征[J]. 自然资源学报, 2019, 34(1): 26-39. [Zhou Ting, Niu Anyi, Ma Jiaojiao, et al. Spatio-temporal pattern of national wetland parks[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(1): 26-39.]

[21] 刘汉湖, 刘奕, 宋景辉, 等. 中国湿地公园空间分布及其影响因素研究[J]. 湿地科学与管理, 2020, 16(3): 63-68. [Liu Hanhu, Liu Yi, Song Jinghui, et al. Spatial distribution patterns and influence factors of wetland parks in China[J]. Wetland Science & Management, 2020, 16(3): 63-68.]

[22] 樊涵, 刘佳梅, 杨朝辉, 等. 贵州省不同类型自然保护地空间分异及其影响因素[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2023, 45(1): 226-238. [Fan Han, Liu Jiamei, Yang Zhaohui, et al. The influence factors of different types of protected areas spatial differentiation in Guizhou Province[J]. Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition), 2023, 45(1): 226-238.]

[23] 吴豫, 李尊, 彭凤姣, 等. 河南省国家湿地公园发展状况及空间分布特征[J]. 绿色科技, 2020(22): 7-11. [Wu Yu, Li Zun, Peng Fengjiao, et al. Study of development status quo and spatial distribution characteristics of national wetland parks in Henan Province [J]. Journal of Green Science and Technology, 2020(22): 7-11.]

[24] 周成, 赵亚玲, 张旭红, 等. 黄河流域城市生态韧性与效率时空演化特征及协调发展分析[J]. 干旱区地理, 2023, 46(9): 1514-1523. [Zhou Cheng, Zhao Yaling, Zhang Xuhong, et al. Spatiotemporal evolutionary characteristics and coordinated development of urban ecological resilience and efficiency in the Yellow River Basin[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(9): 1514-1523.]

[25] 左其亭, 吴青松, 姜龙, 等. 黄河流域多尺度区域界定及其应用选择[J].水利水运工程学报, 2022(5): 12-20. [Zuo Qiting, Wu Qingsong, Jiang Long, et al. Multi-scale regional definition and its application selection in the Yellow River Basin[J]. Hydro-Science and Engineering, 2022(5): 12-20.]

[26] 周成, 靳轶婷, 周霖, 等. 黄河流域文保单位多尺度空间差异及其与地理环境空间关系研究[J/OL]. 世界地理研究. [2023-09-07]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1626.P.20230428.1850.002.html. [Zhou Cheng, Jin Yiting, Zhou Lin, et al. Multi-scale spatial heterogeneities of cultural relic protection units in Yellow River Basin and its spatial relationship with geographical environment[J/OL]. World Regional Studies. [2023-09-07]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1626.P.20230428.1850.002.html.]

[27] 魏伟, 唐林. 三区空间视角下江汉平原农业空间时空演化及驱动机制分析[J]. 水土保持研究, 2023, 30(2): 369-377. [Wei Wei, Tang Lin. Spatial and temporal evolution characteristics and driving mechanism of agriculture in Jianghan Plain from the perspective of three regions[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(2): 369-377.]

[28] 周成, 周霖, 吕炯彦, 等. 山西省红色文化遗址的空间分异特征与要素关联分析——以不可移动革命文保单位为例[J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(12) :163-171. [Zhou Cheng, Zhou Lin, Lü Jiongyan, et al. Spatial differences of red revolution sites in Shanxi Province and its relationship with influencing factors: A case of immovable revolutionary relics[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2022, 36(12): 163-171.]

[29] 杨利, 石彩霞, 谢炳庚. 长江流域国家湿地公园时空演变特征及

其驱动因素[J]. 经济地理, 2019, 39(11): 194−202. [Yang Li, Shi Caixia, Xie Binggeng. Temporal and spatial pattern evolution characteristics and driving factors of national wetland parks in the Yangtze River Basin[J]. Economic Geography, 2019, 39(11): 194−202.]

[30] 吴后建, 但新球, 王隆富, 等. 中国国家湿地公园的空间分布特征[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(6): 50−57. [Wu Houjian, Dan Xinqiu, Wang Longfu, et al. Spatial distribution characteristics of national wetland parks in China[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2015, 35(6): 50−57.]

[31] 巴旗, 吴振, 张诗然, 等. 黄河口湿地植被时空变化及其影响因素[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2022, 52(12): 81−94. [Ba Qi, Wu Zhen, Zhang Shiran, et al. Temporal and spatial variation of wetland vegetation in the Yellow River (Huanghe) Mouth and its influencing factors[J]. Periodical of Ocean University of China (Natural Science Edtion), 2022, 52(12): 81−94.]

Spatiotemporal differentiation, center of gravity evolution and driving factors of national wetland parks in the Yellow River Basin

ZHOU Cheng[1,2], ZHAO Yaling[1], REN Minmin[1], JIN Yiting[1], LYU Sisi[1]

(1. Faculty of Culture, Tourism, Journalism and Art, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030006, Shanxi, China;
2. School of Digital Culture and Tourism, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030006, Shanxi, China)

Abstract: Wetland parks are crucial to China's natural protection system. Strengthening the construction and management of national wetland parks holds immense importance for effectively protecting wetland resources and harnessing the full ecological potential of wetlands. Focusing on the national wetland parks in the Yellow River Basin of China, this study employs kernel density estimation, hot spot analysis, standard deviation ellipse, and a geographical detective model to investigate the spatiotemporal differentiation, center of gravity evolution, and driving factors of wetland parks in 2010, 2015, and 2022. The results include the following: (1) In 2010, wetland parks in the Yellow River Basin presented a "double core and multiple points" density feature, evolving into a "multi-core and continuous patch" distribution trend in 2015 and 2022. The number and area of parks greatly increased, underscoring their growing role in regional economic development and ecological protection. (2) From 2010 to 2022, the spatial center of gravity of national wetland parks moved 247.31 km to the northeast, revealing a distinct "northeast-southwest" directional feature in its distribution pattern. Interbasin differences highlighted the largest movement of spatial center of gravity in wetland parks in the middle reaches of the Yellow River and the smallest movement in downstream provinces. (3) Natural environmental factors have a limited impact on the number and distribution of wetland parks, whereas social and economic factors decisively influence wetland protection, restoration, and park construction. Notably, the per capita regional gross domestic product and the digital elevation model have the greatest effect on the dimensions of social and natural driving, respectively.

Key words: national wetland park; spatiotemporal differentiation; center of gravity evolution; driving factors; Yellow River Basin